

DERWENT-ACC-NO: 1989-107508

DERWENT-WEEK: 198915

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Submerged arc-welding, for ferrous materials - by
producing square-wave alternating current, operating
frequencies, amplitude period etc. with phase
displacement

INVENTOR: KILLIG, U; NIEDERHOFF, K

PATENT-ASSIGNEE: MANNESMANN AG[MANS]

PRIORITY-DATA: 1987DE-3735834 (October 20, 1987)

PATENT-FAMILY:	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES
PUB-NO			
MAIN-IPC			
DE 3735834 C	April 13, 1989	N/A	009 N/A

APPLICATION-DATA:	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
PUB-NO			
DE 3735834C	N/A	1987DE-3735834	October 20,
1987			

INT-CL (IPC): B23K009/24

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 3735834C

BASIC-ABSTRACT:

In a submerged-arc welding process for ferrous materials, electrodes are supplied by independent power sources, producing a square-wave ac., operating with phase displacement, frequencies, amplitude period t_p of the positive and period t_n of the negative half waves, as well as the phase relationships of the ac. can be ster-lessly adjusted. Frequency of the alternating currents of first to nth electrode increases and the period t_p compared with the duration of the whole period of a current wave, i.e. $PB = t_p / (t_p + t_n) \times 100\%$ decreases from first to nth electrode.

ADVANTAGE - Large pipes can be welded at high rates with min. weld defects.

CHOSEN-DRAWING: Dwg.0/3

TITLE-TERMS: SUBMERGED ARC WELD FERROUS MATERIAL PRODUCE SQUARE WAVE ALTERNATE
CURRENT OPERATE FREQUENCY AMPLITUDE PERIOD PHASE DISPLACEMENT

DERWENT-CLASS: M23 P55 X24

CPI-CODES: M23-D01A3;

EPI-CODES: X24-B04; X24-B05;

SECONDARY-ACC-NO:

CPI Secondary Accession Numbers: C1989-047549

Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1989-081988

PUB-NO: DE003735834C1
DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 3735834 C1
TITLE: Method for rapid welding under powder
PUBN-DATE: April 13, 1989

INVENTOR-INFORMATION:
NAME
KILLING, ULRICH DR-ING
NIEDERHOFF, KURT DR-ING

COUNTRY
N/A
N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:
NAME
MANNESMANN AG

COUNTRY
N/A

APPL-NO: DE03735834
APPL-DATE: October 20, 1987

PRIORITY-DATA: DE03735834A (October 20, 1987)
INT-CL (IPC): B23K009/18, B23K009/24
EUR-CL (EPC): B23K009/18 ; B23K009/18
US-CL-CURRENT: 219/137WM

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=O> The invention relates to a method for rapid welding under powder of seam joints on iron materials, all the welding wires in each case being connected (in order to achieve high welding speeds) to independent welding power sources which are not influenced on the primary side and have the capability for continuously variable adjustment of the frequency, form (magnitude and length) of the positive and negative current half cycles and the phase angle of the currents, and the current frequencies of the individual alternating currents increasing from the first to the nth electrode (f1-f2-f3...fn), the duty ratios PB at the same time reducing from the first electrode to the last (PB1=PB2=PB3...=PBn).

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND

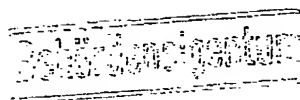


DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 37 35 834 C 1

⑤1 Int. Cl. 4:
B23 K 9/24
B 23 K 9/18
// B23K 9/225

②1 Aktenzeichen: P 37 35 834.0-34
②2 Anmeldetag: 20. 10. 87
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 13. 4. 89



DE 37 35 834 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
Mannesmann AG, 4000 Düsseldorf, DE

⑦4 Vertreter:
Meissner, P., Dipl.-Ing.; Presting, H., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 1000 Berlin

⑦2 Erfinder:
Killing, Ulrich, Dr.-Ing., 4010 Hilden, DE; Niederhoff,
Kurt, Dr.-Ing., 4030 Ratingen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 31 03 247 C2
DE-OS 24 52 154
EP 00 77 640 B1
GB-DS »Welding and Metal Fabr.«, 1983, S. 151-153,
F.J. Grist, Square-wave a.c. sub-arc unit meets
thick-wall needs»;
JP-DS »Pat. abstr. of Jap.«, 1982, Vol. 6, M-175,
No. 242;

⑤4 Verfahren zum Unterpulver-Schnellschweißen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Unterpulver-Schnellschweißen von Nahtfugen an Eisenwerkstoffen, wobei zur Erreichung hoher Schweißgeschwindigkeiten alle Schweißdrähte jeweils an unabhängige, primärseitig sich nicht beeinflussende Schweißstromquellen mit stufenloser Einstellbarkeit von Frequenz, Form (Höhe und Länge) der positiven und der negativen Stromhalbwellen sowie der Phasenlage der Ströme angeschlossen werden und die Stromfrequenzen der einzelnen Wechselströme von der ersten bis zur n-ten Elektrode zunehmen ($f_1, f_2, f_3, \dots, f_n$), wobei gleichzeitig die Tastverhältnisse PB von der ersten bis zur letzten Elektrode hin abnehmen ($PB_1 = PB_2 = PB_3, \dots = PB_n$).

DE 37 35 834 C 1

Patentansprüche

1. Verfahren zum Unterpulver-Schnellschweißen an Fe-Werkstoffen, bei dem mehrere Elektroden, die jeweils an unabhängigen, primärseitig sich nicht beeinflussenden Schweißstromquellen, die einen Wechselstrom mit Rechteckcharakteristik erzeugen, angeschlossen sind und mit gegeneinander phasenverschobenen Strömen betrieben werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzen, die Amplituden, die Dauer t_p der positiven und die Dauer t_n der negativen Halbwelle sowie die Phasenbeziehungen der Wechselströme stufenlos einstellbar sind und daß die Frequenz der Wechselströme von der ersten zur n -ten Elektrode zunimmt und die Dauer t_p im Vergleich zur Dauer der Gesamtperiode einer Stromwelle, d. h. das Verhältnis

$$PB = [t_p/t_p + t_n] \times 100\%$$

von der ersten zur n -ten Elektrode abnimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromfrequenzen im Bereich $20 \text{ Hz} \leq f \leq 1000 \text{ Hz}$ und die Tastverhältnisse im Bereich $20\% \leq PB \leq 80\%$ gehalten werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der Schweißelektroden auf 5 beschränkt ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Unterpulver-Schnellschweißen von Nahtfugen an Eisenwerkstoffen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Das Unterpulver-Schnellschweißverfahren mit mehreren Schweißdrähten wird insbesondere zum Längsnahtschweißen von Großrohren, aber auch zur Fertigung von Schraubennahtrohren, zum Verbinden langer Bleche und zum Kehlnahtschweißen von langen Trägern eingesetzt. Mit zunehmender Anzahl der am Schweißprozeß beteiligten Schweißdrähte konnte dabei die Schweißgeschwindigkeit gesteigert werden. Nachteilig macht sich beim Mehrdrahtschweißen mit Gleichstrom jedoch die Tatsache bemerkbar, daß sich die an den einzelnen Elektroden brennenden Lichtbögen aufgrund ihrer räumlichen Nähe gegenseitig durch das Einwirken unterschiedlich gerichteter elektromagnetischer Kräfte beeinflussen. Verstärkt wird dies noch durch die magnetischen Eigenschaften der Eisenwerkstoffe der zu verschweißenden Werkstücke. Dabei kommt es zu Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen der Lichtbögen untereinander, was zu einem unruhigen Schweißablauf führt. Die Folge davon kann ein unzureichendes Nahtaussehen mit Einschnürungen oder Einbrandkerben sein. Die Nähte können auch innere Fehler wie Schlackeneinschlüsse, Poren, Bindefehler oder Risse aufweisen. Bei besonders ungünstig ausgerichteten magnetischen Kräften ist es teilweise unmöglich, überhaupt einen Schweißprozeß aufrechtzuerhalten.

Als Gegenmaßnahme hat sich bei der industriellen Fertigung das Schweißen mit Wechselströmen bewährt. In diesem Zusammenhang sind aus der Literatur (z. B. DE-OS 24 52 154 oder EP-PS 00 77 640) verschiedene Schaltungsanordnungen der Drahtelektroden bekannt. Dabei werden die einzelnen Drähte an sinusförmige Wechselströme mit vorgegebener Frequenz (z. B. 50 Hz in Westeuropa, 60 Hz in USA) aber mit unterschiedlicher Phasenlage angeschlossen.

In der DE-PS 31 03 247 ist ein Verfahren zum WIG-Heißdrahtschweißen offenbart, bei dem der Schweißdraht durch einen rechteckförmigen Wechselstrom beheizt wird und der Lichtbogen mit einem gepulsten Gleichstrom betrieben wird. Draht und Lichtbogen arbeiten mit gleicher Frequenz. Die Phasenverschiebung zwischen den beiden Strömen wechselt periodisch zwischen den Werten 0° und 180° . Mit dieser Maßnahme wird angestrebt, beim Orbitalschweißen das Schweißbad während der Phasen der Zwangslage (9-Uhr- und 3-Uhr-Stellung) in einer günstigen Form zu halten.

Aus der JP-OS 57-138 467 ist es für das WIG-Aluminiumschweißen bekannt, die Abschmelzleistung dadurch zu erhöhen, daß zwei Lichtbögen mit Rechteckwechselstrom gleicher Frequenz betrieben werden, wobei die beiden elektrischen Ströme um 180° phasenverschoben sind, so daß immer nur ein Lichtbogen brennt. Mit dieser Maßnahme soll trotz der Erhöhung der Abschmelzleistung eine günstige Elektrodenstandzeit gewährleistet werden.

Die Vielfalt der bekanntgewordenen Schaltungsanordnungen deutet darauf hin, daß ein optimales, allgemeingültiges Schaltungskonzept nicht existiert. Vielmehr hat jeder Anwender derartiger Verfahren eine für seine Verhältnisse günstige Anschlußart ermittelt, wobei örtliche Umstände berücksichtigt wurden, die die primär- und sekundärseitigen Netzverhältnisse (primäre Netzspannung 380 V oder 500 V, unsymmetrische Netzbelastung, Spannungs- und Stromschwankungen im Stromnetz), die Verlegung der Anschlußkabel bis zu den Schweißmaschinen und die damit verbundene Phasenverschiebung durch die induktiven Kabelwiderstände oder aber die Art und den Ort der Massekabelanbringung betreffen. Es ist durchaus nicht gleich, ob mit der gleichen Schaltungsanordnung z. B. zwei ebene Bleche stumpf miteinander verschweißt werden sollen oder die Längsnaht eines Großrohres geschweißt werden soll.

Besonders störend macht sich beim Schweißen mit sinusförmigen Wechselströmen der Umstand bemerkbar, daß die Lichtbögen kurz vor dem Stromnulldurchgang erlöschen und erst nach dem Stromnulldurchgang wieder zünden (Lichtbogentotzeit). Hinzu kommt die Tatsache, daß ein Lichtbogen im Moment des Wiederspüßens, also bei relativ geringen Stromstärken, besonders leicht durch andere Lichtbögen, die in der Hochstromphase brennen, abgelenkt werden kann. Das ständige Erlöschen und Wiederspüßen in Verbindung mit der starken Ablenkung der Lichtbögen in einem Unterpulver-Mehrdrahtschweißprozeß begünstigt einen unruhigen Schweißablauf in der Dampfkaverne des Lichtbogens.

Beim derzeitigen Stand der Schweißtechnologie sind nur begrenzte Möglichkeiten über Variationen der geometrischen Randbedingungen (Drahtabstände, Neigung der Drahtelektroden) sowie Veränderungen der Schaltungsanordnungen bekannt, um das Schweißergebnis zu optimieren.

Vor allem ein Verstellen der Stromstärken, die einen direkten Einfluß auf die magnetische Feldstärke und damit auf die Intensität der Lichtbogenablenkung haben, ist vielfach nicht oder nur unzureichend möglich, weil dadurch entweder die Durchschweißung verhindert oder aber umgekehrt ein Durchfallen des Schmelzbades hervorgerufen werden kann.

Für die besondere Problematik des Schweißens von Aluminium-Werkstoffen, die regelmäßig mit einer Oxidhaut bedeckt sind, wurden Schweißstromquellen mit

Rechteckcharakteristik entwickelt, die einen Wechselstrom liefern, bei dem der Flankenwechsel (Nulldurchgang) zwischen der positiven und der negativen Halbwelle extrem steil ist, um während des Schweißens mit jeder zweiten Halbwelle ein Aufreißen der Oxidhaut zu bewirken (Reinigungsphase). Aus der Veröffentlichung "Square-wave a. c. sub-arc unit meets thick-wall needs" (Welding and Metal Fabrication, April 1983, Seite 151 bis 153) ist es bekannt, Wechselstromschweißquellen mit rechteckförmigem Spannungsverlauf für das Schweißen von Werkstücken aus Stahl mit engen und extrem tiefen (größer 50 mm) Schweißspalten bei zwei Schweißdrähten einzusetzen, wobei die Schweißströme gegeneinander um 60°, 90° oder 180° phasenverschoben sind oder der erste Draht mit Gleichstrom betrieben wird. In den beschriebenen Versuchen waren Phasenlage, Tastverhältnis und Frequenz der Rechteckwechselströme fest vorgegeben und konnten nicht variiert werden. Diese Veröffentlichung befaßt sich außerdem nur mit der speziellen Problematik des Engspalt-schweißens und nicht mit der Frage der Unterpulver-Schnellschweißung insbesondere von Großrohren und den Möglichkeiten einer Vermeidung von Schweißfehlern dabei.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Unterpulver-Schweißen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 in der Weise weiterzuentwickeln, daß es insbesondere zum möglichst fehlerfreien Schweißen von Großrohren bei sehr hohen Schweißgeschwindigkeiten geeignet ist. Das bedeutet, daß im Wanddickenbereich 15–20 mm Schweißgeschwindigkeiten von mindestens 2,0 m/min möglich sein sollen, ohne daß die Reparaturquote für Schweißnahtfehler sich wesentlich erhöht.

Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen 2–4 angegeben.

Die Erfindung sieht vor, daß mit mindestens zwei, vorzugsweise mit bis zu fünf in Schweißrichtung hintereinander angeordneten Elektroden geschweißt wird. Alle Elektroden werden mit Wechselstrom gespeist, wobei als Stromversorgung für jeden Draht eine eigene Schweißenergiequelle zur Verfügung steht. In manchen Fällen kann es auch zweckmäßig sein, in Abwandlung dieser Vorschrift die in Schweißrichtung erste Elektrode mit Gleichstrom (positiv oder negativ gepolt) zu betreiben. Es werden thyristor- oder transistorgesteuerte Stromquellen verwendet; diese richten den Wechselstrom zunächst gleich und wandeln den erhaltenen Gleichstrom durch spezielle elektronische Schaltungsanordnungen wieder in einen Wechselstrom um. Der in dieser Weise erzeugte sekundäre Wechselstrom ist durch einen extrem steilen Nulldurchgang gekennzeichnet. Aufgrund der schnellen Stromänderungsgeschwindigkeiten zwischen positiver und negativer Halbwelle wird ein rechteckförmiger Stromverlauf erzeugt. Diese Stromform hat den Vorteil, daß das Verlöschen des Lichtbogens während des Stromnulldurchgangs praktisch verhindert wird, so daß ein weitaus stabilerer Schweißprozeß entsteht.

Bedingt durch den elektronischen Aufbau der Schweißstromquellen werden primärseitige Spannungsschwankungen nicht mehr an den Lichtbogen weitergegeben. Auch dies trägt zur Prozeßstabilisierung bei. Neben einer getrennten Einstellung der Stromstärken von positiver und negativer Stromphase gestatten diese Rechteckwellenstromquellen das stufenlose Verstellen

von Stromfrequenz f und Tastverhältnis PB , d. h. die positiven und negativen Stromanteile können ebenfalls variiert werden. Das Tastverhältnis wird nach der in abgewandelter Form aus der Gleichstromimpulsschweißung bekannten Beziehung

$$PB = \frac{t_P}{t_P + t_N} \times 100\%$$

ermittelt, worin t_P die Dauer der positiven Halbwelle und t_N die Dauer der negativen Halbwelle bedeuten.

Gemäß der Erfindung sind an den einzelnen Schweißelektroden vom in Schweißrichtung ersten (Index 1) bis zum letzten (Index n) Draht die Frequenzen zunehmend und die Tastverhältnisse abnehmend so einzustellen, daß ein möglichst ruhiger Schweißverlauf erzielt wird. Es müssen die folgenden Beziehungen dabei eingehalten werden:

$$f_1 \leq f_2 \leq f_3 \dots \leq f_n \text{ mit } f_1 < f_n$$

$$PB_1 \geq PB_2 \geq PB_3 \dots \geq PB_n \text{ mit } PB_1 > PB_n$$

Dabei hat es sich als zweckmäßig erwiesen, wenn die Frequenzen auf einen Bereich $20 \text{ Hz} \leq f \leq 1000 \text{ Hz}$ und die Tastverhältnisse auf einen Bereich $20\% \leq PB \leq 80\%$ beschränkt werden.

Anhand von zwei Beispielen wird die Erfindung im folgenden näher erläutert.

Es zeigt

Fig. 1 den schematischen Stromverlauf für das erfindungsgemäße Schweißen mit drei Schweißelektroden

Fig. 2 einen Vergleich einer erfindungsgemäß erzeugten Schweißraupe mit einer Schweißraupe nach dem Stand der Technik

Fig. 3 die Häufigkeit von Schlackeneinschlüssen beim erfindungsgemäßen Schweißen und beim Schweißen nach dem Stand der Technik.

Beispiel 1

Auf 20 mm dicken Blechen aus StE 360 wurden Blindraupenschweißungen nach dem Unterpulver-3-Drahtverfahren vorgenommen, wobei als Stromquellen zum einen 3 konventionelle Transformatoren mit sinusförmigen Stromverlauf (Versuchsreihe A) zum anderen 3 Rechteckwellen-Stromquellen eingesetzt wurden (Versuchsreihe B). Die dabei zugrundegelegten Schweißbedingungen können der Tafel 1 entnommen werden, wobei v_s die Schweißgeschwindigkeit und E die Energieeinbringung in die Schweißnaht bedeuten. Die in Versuchsreihe B gewählten Stromverläufe sind in Fig. 1 schematisch dargestellt.

Das Nahtaussehen der in diesen beiden Versuchsreihen gefertigten Blindraupen ist in Fig. 2a und 2b dargestellt. Bei der Verwendung von sinusförmigen Stromverläufen wurde bei der, bezogen auf das Wärmeeinbringen von 16,7 kJ/cm, relativ hohen Vorschubgeschwindigkeit von $v_s = 1,8 \text{ m/min}$ ein unruhiger Schweißverlauf beobachtet, der auf die ständig zu- und abnehmenden Anziehungskräfte der Lichtbögen untereinander und die dadurch hervorgerufenen Lichtbogenbewegungen zurückgeführt werden kann. Als Folge dieses unruhigen Schweißprozesses entstand eine unbrauchbare Raupengeometrie mit Einbrandkerben und Einbeulungen an den Nahtflanken (Fig. 2a). Im Gegensatz dazu erwies sich der Schweißablauf bei der Verwendung von rechteckigen Stromverläufen als weitaus

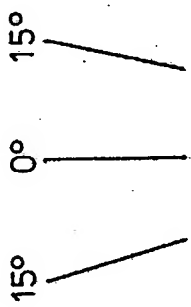
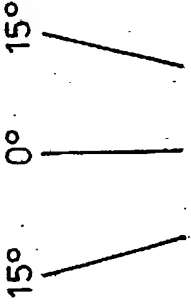
ruhiger. Demzufolge ist die Nahtgeometrie deutlich besser, d. h. es konnte bei gleicher Schweißgeschwindigkeit und gleicher Energieeinbringung in die Schweißnaht eine gleichmäßige und einbrandkerbenfreie Raupe (Fig. 2b) geschweißt werden.

Beispiel 2

Beim Unterpulver-Schweißen kann es bei ungünstig vorgewählten Schweißparametern zu Schlackeneinschlüssen in der Naht kommen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Schweißgeschwindigkeit unangemessen hoch gewählt wird. Dabei hängt die maximal mögliche Vorschubgeschwindigkeit zum einen sehr stark von den Eigenschaften des Schweißpulvers (Basizität, Korngröße, Herstellungsart, chemische Zusammensetzung), zum anderen aber auch von den eingestellten elektrischen Kenngrößen (Strom, Spannung) und beim Mehrdrahtschweißen zusätzlich von der elektrischen Schaltungsanordnung der Elektroden und der Drahtstellung ab. Im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es jedoch möglich, die Schweißgeschwindigkeit bei gleichzeitig verringerter Schlackeneinschlussanfälligkeit der Nähte erheblich zu steigern. Dies zeigt das nachfolgende Beispiel.

Auf 20 mm dicken Blechen aus StB 360 wurden Blindschweißungen nach dem Unterpulver-3-Drahtverfahren vorgenommen, wobei als Stromquellen einerseits (Versuchsreihe C) 3 konventionelle Transformatoren mit sinusförmigem Stromverlauf, andererseits 3 Rechteckwellen-Stromquellen (Versuchsreihe D) eingesetzt wurden. Die Schweißbedingungen können der Tafel 2 entnommen werden. Die elektrischen Kenngrößen Strom und Spannung wurden dabei derart vorgewählt, daß in beiden Versuchsreihen C und D jeweils mit konstanter elektrischer Gesamtleistung geschweißt wurde, so daß die Ergebnisse bei gleichen Vorschubgeschwindigkeiten unmittelbar verglichen werden können, da die Streckenenergien nicht variieren. Als Pulver diente ein neutrales Schmelzpulver der Körnung 32×200 . In den beiden Versuchsserien wurde die Schweißgeschwindigkeit bei konstanten elektrischen und geometrischen Randbedingungen zwischen 0,5 m/min und 2,0 m/min variiert. Alle Nähte wurden nach dem Schweißen geröntgt und die Anzahl der vorhandenen Schlackeneinschlüsse auf den Filmen ausgezählt. Das Ergebnis dieser Versuche ist in Fig. 3 dargestellt. Es wird deutlich, daß unter den gewählten Versuchsbedingungen die mit sinusförmigen Wechselströmen geschweißten Nähte schon bei einer niedrigen Vorschubgeschwindigkeit von 1,25 m/min schlackeneinschlussbehaftet waren, während die mit rechteckförmigen Wechselströmen geschweißten Raupen erst bei Schweißgeschwindigkeiten ab 1,75 m/min Schlackeneinschlüsse aufwiesen. Wesentlich dabei ist, daß die Anzahl der Schlackeneinschlüsse in den mit Rechteckwellenstrom geschweißten Nähten immer deutlich niedriger als beim Schweißen mit sinusförmigen Wechselstrom lag.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

	V E R S U C H C	V E R S U C H D
Drahtstellung		
Draht- \emptyset	2,0 mm	2,0 mm
Schweißparameter	$I_1 > I_2 > I_3$ $U_1 < U_2 < U_3$ Elektr. Leistung: $P_{\Sigma} = \Sigma I_i U_i$ $v_s = 0,5; 0,75; 1,0; 1,10; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0$ m/min	$I_1 > I_2 > I_3$ $U_1 < U_2 < U_3$ $U_i = P_{\Sigma} = \Sigma I_i U_i$
Stromverlauf	sinusförmig, $f = 50$ Hz Phasenverschiebung jeweils 60°	rechteckförmig, $f_1 = 20$ Hz, $P_{B1} = 80$ % $f_2 = 50$ Hz, $P_{B2} = 50$ % $f_3 = 200$ Hz, $P_{B3} = 50$ %

Tafel 2:

Fig. 1:

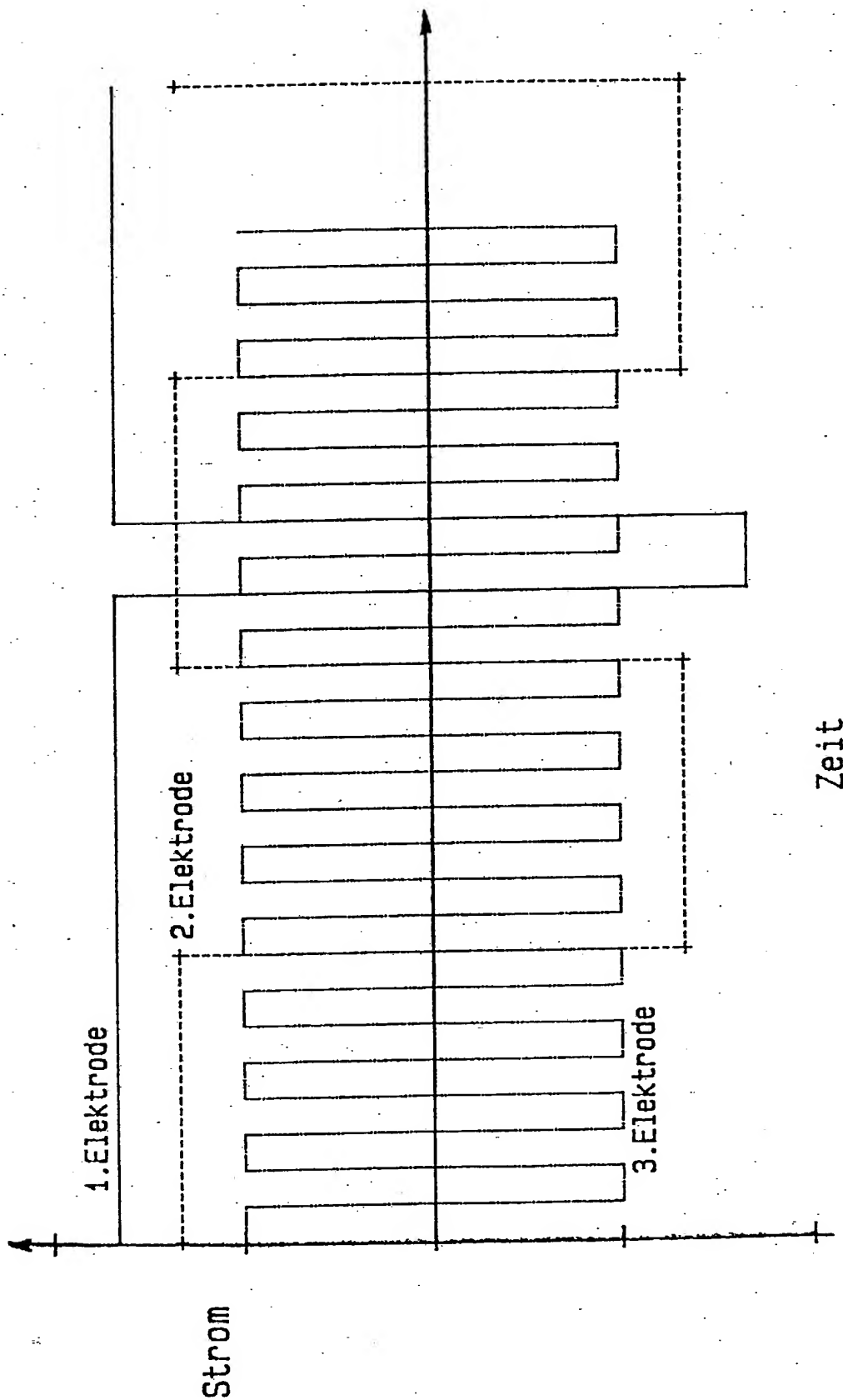




Fig. 2a



Fig. 2b

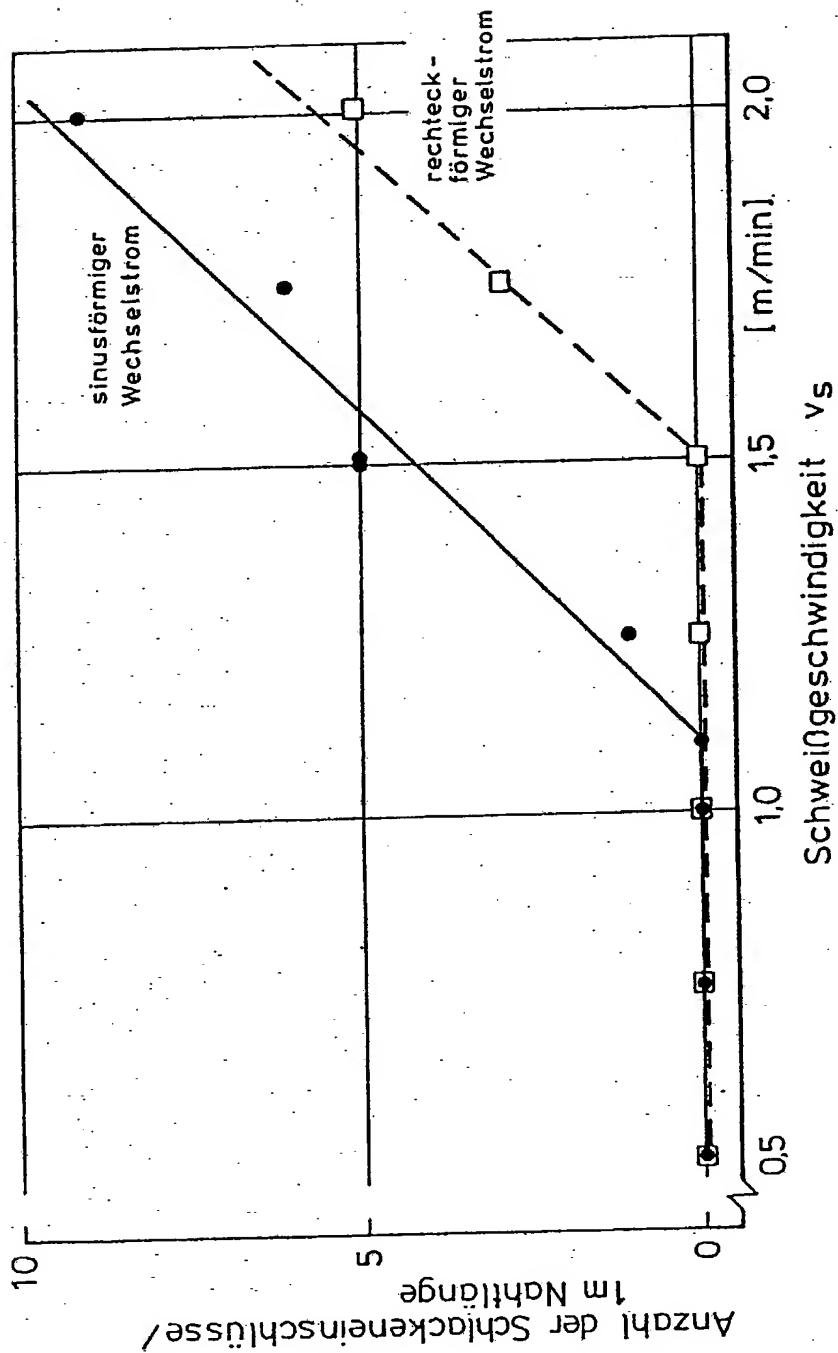
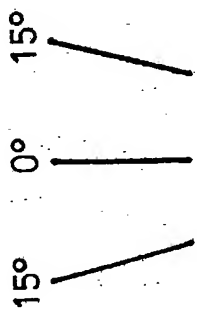
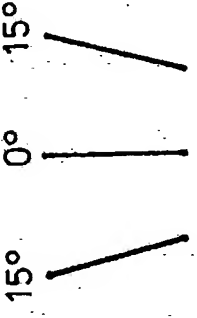


Fig. 3

	VERSUCH A	VERSUCH B
Drahtstellung		
Draht-Ø	3,0 mm (niedrig legiert)	3,0 mm (niedrig legiert)
Schweißparameter	$v_s = 180 \text{ cm/min}$ $E = 16,7 \text{ kJ/cm}$	$v_s = 180 \text{ cm/min}$ $E = 16,7 \text{ kJ/cm}$
Stromverlauf	sinusförmig, $f = 50 \text{ Hz}$ Phasenverschiebung jeweils 60°	rechteckig, $f_1 = 20 \text{ Hz}$, $PB_1 = 80 \%$ $f_2 = 50 \text{ Hz}$, $PB_2 = 50 \%$ $f_3 = 200 \text{ Hz}$, $PB_3 = 50 \%$
Schweißpulver	BAR 1 88 AC 10 SKM, DIN 32 522	BAR 1 88 AC 10 SKM, DIN 32 522

Tafel 1: